

Les karsts de l'Est canadien

Jean Corbel

Volume 2, numéro 4, 1958

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/020088ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/020088ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Corbel, J. (1958). Les karsts de l'Est canadien. *Cahiers de géographie du Québec*, 2(4), 193–216. <https://doi.org/10.7202/020088ar>

Résumé de l'article

This is a systematic study of karsts in Eastern Canada especially caves and underground streams. The analysis of the limestone content in the water has been used to study the actual dissolution of limestone. It has been deduced that some of the most typical caves, such as the Saint-Casimir cave in Portneuf county, was formed 3,500-4,000 years ago. This dating is cross-examined with other factors supplied by the physical geography of the area : ice retreat, study of pollens, C.14 analysis, post-glacial surrection, etc.

The evolution of the limestone coast of the Mingan-Anticosti area is also described. Everywhere, in the Mingan area and the Anticosti region as well as in the Saint-Casimir cave, the erosion is very rapid. It is a constant fact in regions with heavy snowfalls as demonstrated in similar regions of Norway and Alaska.

The climatic influence on the shape and speed of karstification is a determinant factor.

LES KARSTS¹ DE L'EST CANADIEN

par

JEAN CORBEL

Attaché au Conseil national de la recherche scientifique (France)

SUMMARY

This is a systematic study of karsts in Eastern Canada especially caves and underground streams. The analysis of the limestone content in the water has been used to study the actual dissolution of limestone. It has been deducted that some of the most typical caves, such as the Saint-Casimir cave in Portneuf county, was formed 3,500-4,000 years ago. This dating is cross-examined with other factors supplied by the physical geography of the area: ice retreat, study of pollens, C.14 analysis, post-glacial surrection, etc.

The evolution of the limestone coast of the Mingan-Anticosti area is also described. Everywhere, in the Mingan area and the Anticosti region as well as in the Saint-Casimir cave, the erosion is very rapid. It is a constant fact in regions with heavy snowfalls as demonstrated in similar regions of Norway and Alaska.

The climatic influence on the shape and speed of karstification is a determinant factor.

PRÉSENTATION

Les explorateurs de grottes, les spéléologues, semblent surtout exercer leur activité en France, où se trouvent les plus profonds gouffres du monde... Ils peuvent aussi le faire au Canada, non seulement dans les hautes montagnes de l'Ouest, où le gouffre de Nakimu, près de Glacier, est le plus grand et le plus profond gouffre du Canada, mais aussi dans l'Est canadien, dans le Québec même...

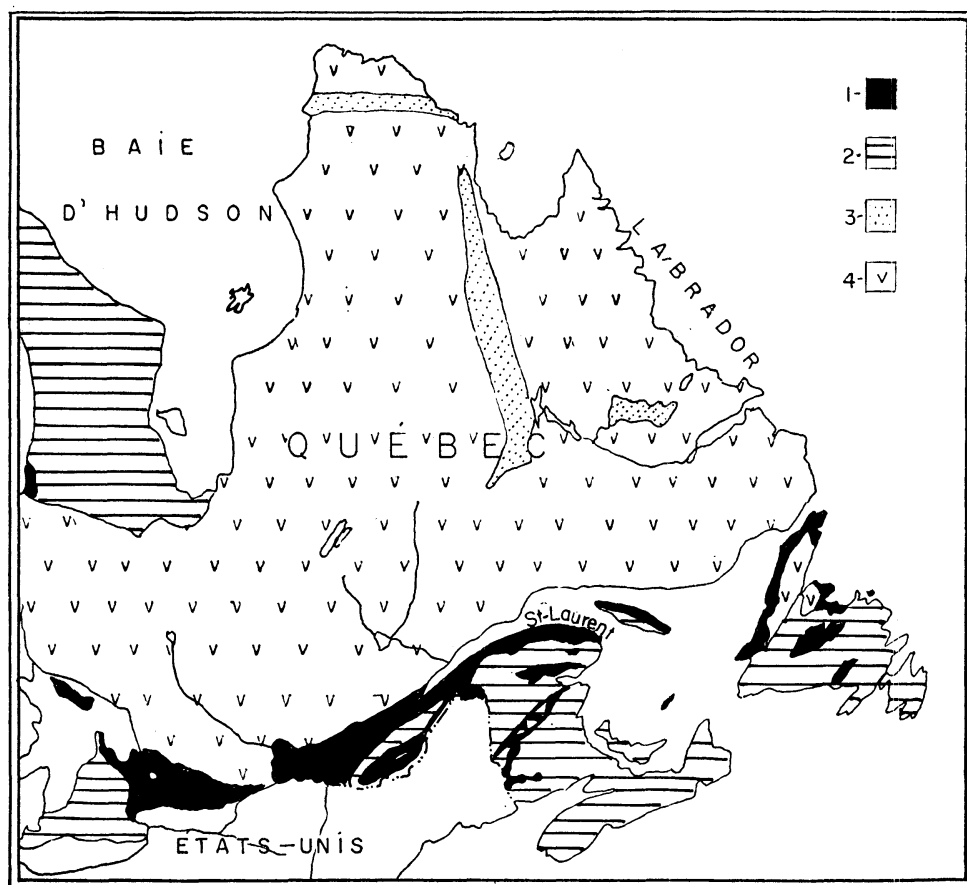
Par Est canadien, nous entendons la province de Québec flanquée des provinces maritimes d'une part et de la région au Sud de la baie d'Hudson (qui fait administrativement partie de l'Ontario) d'autre part. C'est une région de petites plaines et collines, collines qui prennent parfois, comme dans les Laurentides ou les Torngats, l'allure de vraies petites montagnes. Géologiquement, c'est un fragment du « Bouclier » canadien, frangé dans sa bordure méridionale de roches primaires. Climatiquement, c'est une région humide (1,000 à 1,500 mm de précipitations, 3 à 5 pieds), neigeuses (de 100 cm dans l'Est, à 300 cm dans les Laurentides), où l'on passe d'un climat franchement océanique, à des températures

¹ « Grottes et terrains calcaires contenant des grottes. » Ce terme provient de la région du Karst, au nord de la Yougoslavie, où l'on trouve de grandes masses de calcaires dans lesquelles les rivières ont creusé des grottes gigantesques. Par analogie, on appelle *Karst* toutes régions semblables. Ce n'est guère que dans les terrains calcaires que les rivières cessent ainsi de couler en surface pour creuser des lits souterrains formant des grottes. Ce phénomène est dû à la dissolution (ou érosion chimique) du calcaire par les eaux chargées de gaz carbonique. Ces phénomènes de dissolution du calcaire s'appellent « phénomènes karstiques ». Ces cours d'eau souterrains dans les calcaires sont très communs dans le Sud de la France, en Italie, en Grèce... Dans l'Antiquité, ils ont servi de modèles au Styx et à l'Acheron, par exemple.

N.D.L.R. L'illustration de cet article a été faite à partir des documents originaux de l'auteur.

assez douces et maximum de précipitation en saison froide, à un climat continental, hiver très froid, été très chaud, maximum de précipitations en été. C'est là le climat du Sud de la baie d'Hudson, le premier étant celui de la Nouvelle-Écosse. Entre ces deux types de climat on trouve toutes les transitions, généralement un double maximum de précipitations (hiver et été) et une sécheresse croissante en allant vers l'Ouest.

FIGURE I
LES CALCAIRES DE L'EST CANADIEN



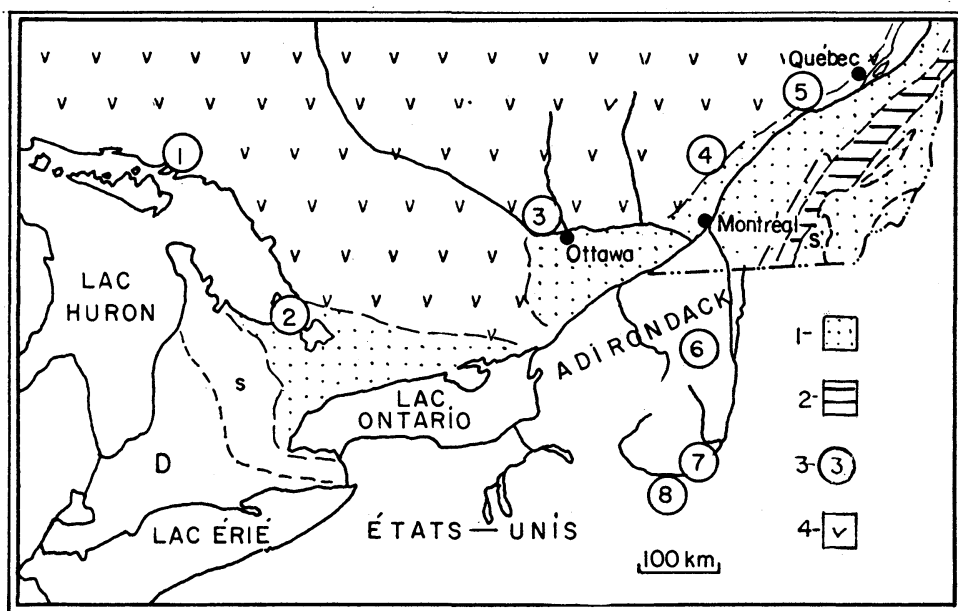
(dessin : Jacques Lemieux)

1. Dépôts Ordoviciens, surtout calcaires.
2. Postcambrien, en partie calcaire.
3. Sédiments précambriens, parfois calcaires.
4. Bouclier canadien.

Karsts et calcaires étant liés, la carte des calcaires (figure I) doit refléter sensiblement celle des karsts. Mais en fait, le temps écoulé depuis la dernière glaciation est souvent tellement court que les grottes n'ont pas encore eu le temps de se former, on a ainsi des calcaires sans phénomènes karstiques notoires.

La vitesse de dissolution (d'érosion chimique) des calcaires peut être mesurée d'une manière relativement simple. Par une analyse chimique (dosage) on peut connaître la quantité de calcaire contenue dans les eaux qui ont lessivé la roche. Connaissant la quantité d'eau qui s'écoule chaque année (elle est fonction des précipitations) on peut en déduire la quantité totale de calcaire qui part ainsi chaque année. C'est l'*ablation*, elle est exprimé en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$. Un $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ équivaut à l'enlèvement d'une couche uniforme d'un millièrme de millimètre d'épaisseur par an, ou, si l'on suppose les conditions constantes, à une couche d'un millimètre en 1,000 ans (mm/millénaire).

FIGURE II
LES GROTTES DE L'EST CANADIEN



(dessin : Pierre Houde)

1. Ordovicien ; 2. Cambrien ; 3. Grottes ; 4. Bouclier canadien ;
D : Dévonien ; S : Silurien ; P : Paléozoïque indifférencié.

Numéros des grottes : 1. Lac Nipissing ; 2. Mair's Mill (Colingwood) ; 3. Laflèche ; 4. Joliette ;
5. Saint-Casimir ; 6. Stone Bridge ; 7. Cooper's Cave ; 8. Howe et Secret Caves. Les grottes
de Sainte-Thérèse-de-Blainville et de Saint-Léonard-de-Port-Maurice sont situées près de
Montréal.

AU SUD DE LA BAIE D'HUDSON

Cette partie orientale est la plus sèche de l'ensemble. Les précipitations sont souvent inférieures à 75 cm. La tranche d'eau écoulee est partout inférieure à 50 cm. Les calcaires sont largement développés entre les lacs Huron et Ontario (figure II). Ils forment une zone basse, couverte de moraines, dominée par de molles collines. La bande calcaire se continue au nord du lac Huron.

Les phénomènes karstiques paraissent être extrêmement rares. La grotte la plus importante paraît bien être celle de Mair's Mill, près de Collingwood, au sud de la baie Géorgienne, dans les calcaires magnésiens du Lockport. D'après Benjamin Sulte, une grotte minuscule (plus petite que la caverne Laflèche dit-il) existerait près du lac Nipissing (peut-être dans la bande de calcaire au nord de la baie Géorgienne?).

Des analyses d'eaux courantes permettent de se rendre compte de l'importance de l'érosion chimique dans ces régions calcaires. Près du lac Simcoe (entre le lac Ontario et la baie Géorgienne), les eaux transportent en moyenne 110 mg/1 de calcaire. Non loin de là, à Beaverton, elles contiennent 105 à 112 mg/1, et au lac Couchiching de 98 à 103 mg/1. Pour la rivière Trent à Trenton, la teneur varie de 96 à 106 mg/1. En raison de l'importance de la couverture morainique nous devons estimer qu'un cinquième seulement des bassins versants est réellement composé de calcaire à peu près mis à nu. L'ablation est donc de $75 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou $75 \text{ mm}/\text{millénaire}$.²

Dans le secteur entre le lac Érié et le lac Huron, la charge en calcaire des eaux provient à la fois du carbonate des formations de couverture (loess, sable, etc. . . .) et de l'attaque des zones carbonatées du substratum. Les charges en calcaire sont légèrement plus élevées que dans la région de Toronto. L'évaporation estivale plus grande provoque une concentration plus forte des sels dissouts, en particulier des calcaires. Comme toujours dans les régions à été chaud, si la teneur s'accroît, la tranche d'eau écoulée se réduit. Pour la rivière Grand, les teneurs en calcaire varient de 270 à 420 mg/1 (à Brantford) et pour la Tamise (à Chatham) de 209 à 248 mg/1. La moyenne se situe autour de 300 mg/1. La tranche d'eau écoulée n'est que de 30 cm, les calcaires représentent sous une forme ou l'autre, un quart du bassin. L'ablation, toujours en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou $\text{mm}/\text{millénaire}$ est de 120. Celle de la roche seule doit être de 60, le reste des carbonates provenant des terres de couverture.

LA PROVINCE DE QUÉBEC ET LE BAS-OUTAOUAIS

C'est la partie centrale de la région étudiée. Les précipitations sont presque partout supérieures à 1,000 mm, une bonne partie a lieu en saison froide sous forme de neige. La tranche d'eau écoulée varie de 50 à 75 cm. Tout au long de la grande bande de calcaire primaire qui flanque au Sud le « Bouclier »,

² La formule donnant l'Ablation peut-être facilement reconstituée. Par simplification, nous la citons en entier :

$$\frac{T(P-P')}{2,500} \times \frac{a}{b}$$

T : teneur en calcaire des eaux/1 ; P : précipitations ; P' : pertes avant écoulement. P et P' en mm. P' pour une région donnée est à peu près constant, pour le Québec par exemple, il varie de 250 à 300 mm (10 à 12 pouces). P-P' est la « tranche d'eau écoulée ». $\frac{a}{b}$ fraction des terrains calcaires dans le bassin versant. 2,500 est le produit de la densité moyenne de calcaire (2,5) par le coefficient 1,000, nécessaire pour obtenir des m^3/km^2 .

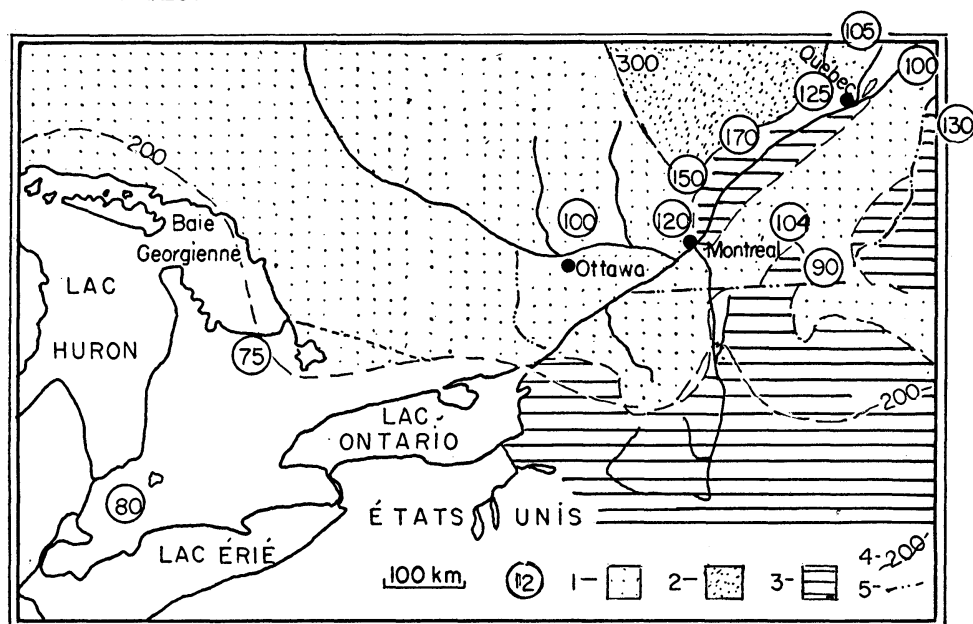
Sur le détail des pertes inclus dans P' on consultera le très judicieux article de L.-E. HAMELIN, *Précisions au sujet des termes de débit, d'écoulement et de ruissellement en hydrologie*, in *Cahiers de géographie de Québec*, n° 2, pp. 139-152, 1957.

les phénomènes karstiques sont assez importants (figure III). Nous les décrivons d'Ouest en Est.

Le Bas-Outaouais

Sur les bords de la Gatineau, à 18 milles au nord d'Ottawa, se trouve la caverne Laflèche (ou de Wakefield), une des plus anciennement connue du Canada puisqu'elle fut décrite dès 1875 par Benjamin Sulte (en termes d'ailleurs très romantiques et très exagérés). Son entrée est à 400 m d'altitude ; son volume est de 13,500 m³, la dénivellation intérieure est de l'ordre de 30 m, on y trouve

FIGURE III
VITESSE D'ABLATION DU CALCAIRE DANS L'EST CANADIEN



(dessin : Pierre Houde)

1. Régions recevant plus de 200 cm de neige ; 2. Régions recevant plus de 300 cm de neige ; 3. Régions recevant plus de 1,000 mm d'eau de précipitation totale ; 4. Limite de la zone des 200 cm de neige ; 5. Frontière des États-Unis et du Canada.

Les vitesses d'ablation sont indiquées par des chiffres dans des cercles. Elles sont données en m³/km²/an ou mm/millénaire. On remarque la relation étroite entre régions de fortes précipitations, neigeuses surtout, avec les fortes ablations.

quelques médiocres concrétions. La partie inférieure de la grotte, occupée par des eaux très lentes, presque stagnantes, peut-être considérée comme semi-active, la partie supérieure comme fossile. Près de la rivière Rouge existe une petite perte de rivière, ou plus exactement de lac. D'autres micro-phénomènes karstiques ont été signalés au nord de l'Outaouais. Les phénomènes les plus importants comme la caverne Laflèche, se trouvent toujours non loin du contact entre le Bouclier et le calcaire, d'une manière générale au lieu où les rivières, aux

eaux agressives (figure IV) formées sur la zone imperméable se perdent au contact des calcaires. En raison de la présence des moraines, cette zone est souvent décalée vers le Sud.

A Hawkesbury, non loin du confluent de la rivière Rouge, l'Outaouais contient de 16 à 19 mg/1 de calcaire, soit en moyenne 21 mg/1.³ Les terrains calcaires affleurants ou sub-affleurants ne représentant guère qu'un trentième du bassin, l'ablation, toujours exprimée en m³/km²an ou mm/millénaire est légèrement inférieure à 100.

La région de Montréal

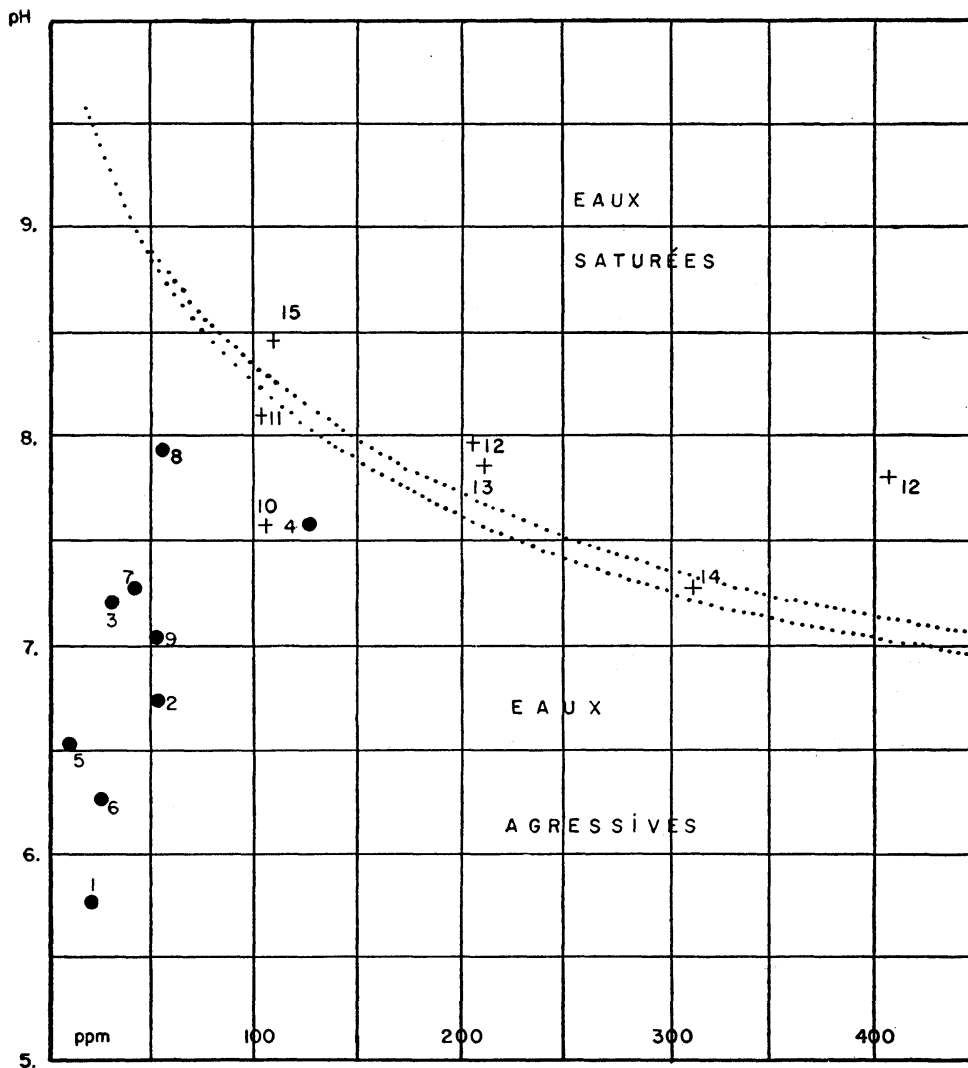
Les phénomènes karstiques, malgré l'extrême platitude des régions calcaires ici, sont bien développés dans la région de Montréal, mais ils ont tous un caractère de grande jeunesse. Ce sont des rivières souterraines, des grottes en pleine formation. Rares sont les parties sèches, encore plus rares celles qui commencent à se couvrir de concrétions.

Au mont Hemmingford (près de la frontière des États-Unis) s'ouvre le gouffre de Covey-Hill. Dans l'agglomération même de Montréal, à Saint-Léonard-de-Port-Maurice, près des grandes artères Pie-IX et côte Saint-Michel, une petite butte calcaire est percée par le « Trou-des-Fées ». Un minuscule réseau sec, donne accès à une fissure assez large et assez profonde au fond de laquelle un ruisseau coule lentement.

Le plus beau réseau souterrain de la région de Montréal reste celui de Sainte-Thérèse-de-Blainville (figure V) dans le comté de Terrebonne. À 3 milles du village de Rosemère, la rivière Quimbeau, après avoir coulé sur les formations de couverture, se perd au contact du calcaire. Toute une série d'autres ruisselets ou filets d'eau temporaires se perd également le long de la même ligne. En un point, on observe même sous le tapis de feuilles mortes de nombreuses fissures de dissolution entrecroisées formant ce que l'on appelle, un *lapiaz*. Dans les Alpes franco-suissees (d'où ce terme de *lapiaz* est originaire), ces formes de découpage en pavés de la roche sont généralement liés à d'importantes masses de neige fondante sur place. La rivière Quimbeau a creusé sous terre une grotte importante connue sous le nom de « grotte aux fées ». On y trouve quelques concrétions, mais l'ensemble du réseau souterrain est actif. En crue, les eaux montent jusqu'à la voûte de la grotte. Celle-ci est accessible par la perte, par un effondrement donnant accès à la partie centrale, au corps principal de la grotte. La résurgence, au fond d'une micro-reculée est impénétrable. La distance en ligne droite, entre la perte et la résurgence est de plus de 600 m. La longueur du cours souterrain dépasse un kilomètre dont 400 seulement ont pu être parcourus. À Sainte-Thérèse, les eaux de source contiennent 210 mg/1 de calcaire dont 130mg/calciques et 80mg/1 magnésiens. Si l'on regarde la masse des bicarbonates, forme la plus fréquente de mise en solution du calcaire, on trouve 250 mg/1. Les roches calcaires forment environ la moitié du bassin dans la région étudiée. On peut donc calculer que l'ablation (toujours en m³/km²/an

³ D'après L.-E. Hamelin, la tranche d'eau écoulée est de 16 pouces (40 cm) à Grenville, *Précisions au sujet des termes...* in *Cahiers de géographie de Québec*, n° 2, p. 144.

FIGURE IV
ÉTAT DES EAUX DANS L'EST CANADIEN



(dessin : Pierre Houde)

Si l'on se réfère à la seule notion de la quantité de calcaire que puisse contenir une eau courante, on peut diviser ces eaux en deux grands groupes : 1° les eaux agressives, très chargées en acide carbonique, qui peuvent dissoudre encore de grandes quantités de calcaires ; 2° les eaux saturées qui ont plus de calcaire qu'elles ne peuvent normalement en contenir ; elles sont incapables d'en dissoudre davantage ; au contraire, elles devront peut-être même bientôt en déposer. Entre les deux, les eaux ayant juste atteint le point d'équilibre (celui-ci change d'ailleurs avec la température, une eau froide pouvant dissoudre plus de calcaire qu'une eau chaude).

Sur le graphique ci-dessus, l'état d'équilibre est indiqué par les lignes en pointillé (ligne supérieure pour 0°C., inférieure pour 10°C.). Le pH indique l'acidité de l'eau ; plus il est faible, plus les eaux sont acides. Au-dessus de 7, elles ne sont plus considérées comme vraiment acides. On a

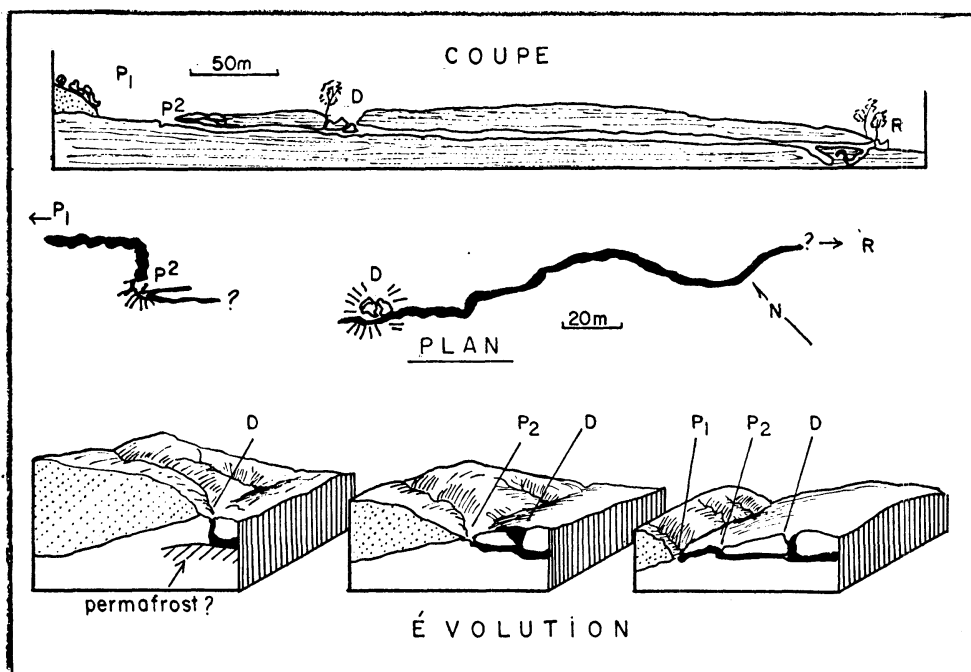
indiqué par une croix les eaux de l'Ontario, par un point celles du Québec et des Maritimes.
1. Herring Cove (N.-B.) ; 2. Rivière St. John (N.-B.) ; 3. Rivière Laval (Québec) ; 4. Saint-Laurent (Montréal) ; 5. Rivière Saint-Jean (Chicoutimi) ; 6. Rivière Saint-Maurice (Grand-Mère) ; 7. Rivière Saint-François (Drummondville) ; 8. Rivière Richelieu (Saint-Jean) ; 9. Rivière Outaouais (Hawkesbury) ; 10. Rivière Rideau (Smith Falls) ; 11. Rivière Trent (Trenton) ; 12. Rivière Grand (Brantford), basses eaux ; 13. id., hautes eaux ; 14. id., moyenne ; 15. Lac Simcoe en été ; 16. Rivière Thames (Chatham) en été.

On remarque la très grande différence entre les eaux saturées de l'Ontario et les eaux extrêmement agressives venues du Bouclier canadien.

ou en mm/millénaire) est légèrement supérieure à 120. Le volume de la grotte est inférieur à $1,000 \text{ m}^3$. Si la vitesse moyenne de dissolution n'a subi que peu de variations au cours des temps récents, on peut estimer que le creusement a dû commencer il y a moins de 3,000 ans. Ce chiffre paraît assez vraisemblable. La grotte est dans une terrasse récente, mais son creusement a dû commencer, non immédiatement après la surrection de la terrasse, mais ultérieurement, après le déblaiement des formations superficielles et la mise à nu du calcaire, ainsi s'expliquerait (cf. figure V) la formation de pertes successives.

L'importance des phénomènes karstiques dans cette région ne s'arrête d'ailleurs pas à la frontière canadienne. Ils sont bien développés au-delà, dans

FIGURE V
GROTTE DE SAINTE-THÉRÈSE-DE-BLAINVILLE



(dessin : Jacques Lemieux)

Coupe et plan (en noir, la rivière souterraine, qui, en crue, occupe toute la grotte). Évolution : la couverture de matériaux imperméables a dû s'étendre plus loin vers le Sud. Elle aurait été peu à peu déblayée, ainsi s'expliquerait l'existence de la grande doline et des deux pertes. D : grande doline ; P1, P2 : pertes.

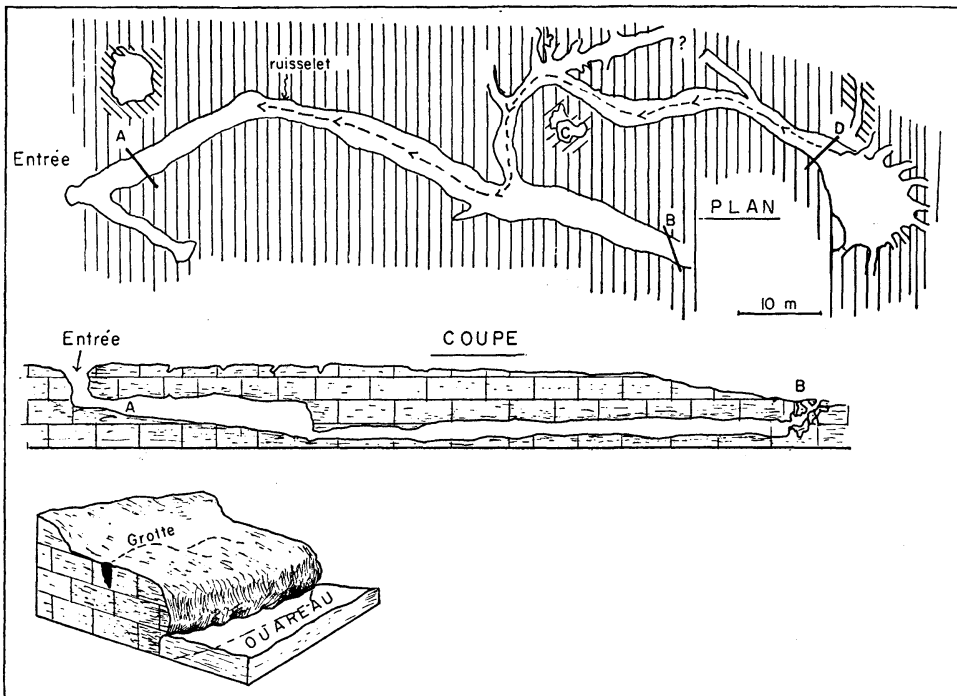
les Adirondacks. À Howe Cavern, à 27 milles au S.O. de Schenectady, existe un long canyon souterrain et quelques rares salles sèches et concrétionnées. Dans cette région, les Secret Caverns sont du même type, mais l'évolution est moins poussée. Plus près d'Albany, la grotte de Know est presque entièrement sèche. Sur l'Indian River se trouve un pont naturel, et près de Glens Falls, la Coopers Cave. À Pottersville (à l'Ouest du lac Champlain), un magnifique ensemble

avec pont naturel, grottes, rivière souterraine, vallées sèches, *lapiaz*... sont autant de témoignage de l'intensité et de la rapidité de la dissolution des calcaires, de la karstification.

De Montréal à Québec

Les principales formations calcaires, les formations Ordoviciennes s'étendent largement sur les deux rives du Saint-Laurent. Cependant les grottes notables, les phénomènes karstiques importants paraissent bien cantonnés sur la seule rive Nord.

FIGURE VI
GROTTE DE JOLIETTE



(dessin : Jacques Lemieux)

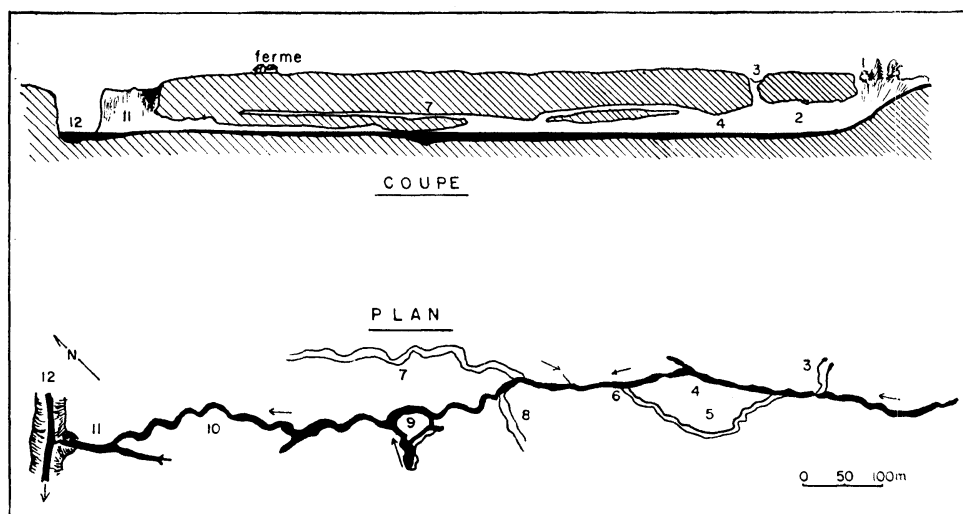
Plan et coupes transversales (en A, B, C, D). Coupe longitudinale de A à B. Le prolongement jusqu'en D est toujours situé sur le même plan horizontal. Bloc-diagramme montrant les relations de la grotte et de la rivière Ouareau. Il est possible que la grotte soit un ancien passage de la Ouareau.

À 5 milles au S.O. de Joliette, la grotte du Pont-des-Dalles, est connue localement sous le nom de « Trou de Fée ». C'est un réseau d'environ 200 m de développement, formé au long d'un parcours souterrain en méandre. Celui-ci est encore utilisé aujourd'hui par un ruisseau, ruisseau qui n'a vraiment d'importance qu'à la fonte des neiges ou après une longue période de pluie. L'ensemble est parallèle à la rivière toute proche de l'Ouareau. L'entré de la grotte est à

quelques mètres de la rivière. La grotte est située à faible profondeur et est à peu près entièrement horizontale. L'influence des joints de stratification explique, en partie, un tel profil, mais non totalement. Ce cours horizontal perché au-dessus du canon de la rivière, reste, par certains côtés un problème (figure VI). À Joliette, l'Assomption charrie de 38 à 45 mg/1 de calcaire (calcique et magnésien). La moyenne se situe autour de 40mg/1, chiffre élevé si l'on songe que cette rivière a essentiellement coulé sur les formations cristallines du Bouclier et que les calcaires ne représentent même pas un quinzième de son bassin. L'ablation (toujours en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou mm/millénaire) est supérieure à 150.

À Saint-Casimir de Portneuf se trouve la plus grande grotte du Québec et de tout l'Est canadien : le Trou du Diable. Sur la rive Sud de la rivière Sainte-Anne, à un mille au N.E. du village, un affluent de la rivière se perd et rejoint la

FIGURE VII
GROTTE DE SAINT-CASIMIR



(dessin : Jacques Lemieux)

Coupe et Plan. 1. Perte de la rivière, entrée du « Trou du Diable » ; 2. Galerie du ramonage ; 3. Cheminée du Diable ; 4. Le grand couloir ; 5. Galerie des marmites ; 6. Le Pilier ; 7. Galerie Brassard-Petzl ; 8. Galerie Corbel-Petzl ; 9. Salle de la petite cascade ; 10. Le Grand Bain ; 11. Sortie, résurgence ; 12. Rivière Sainte-Anne.

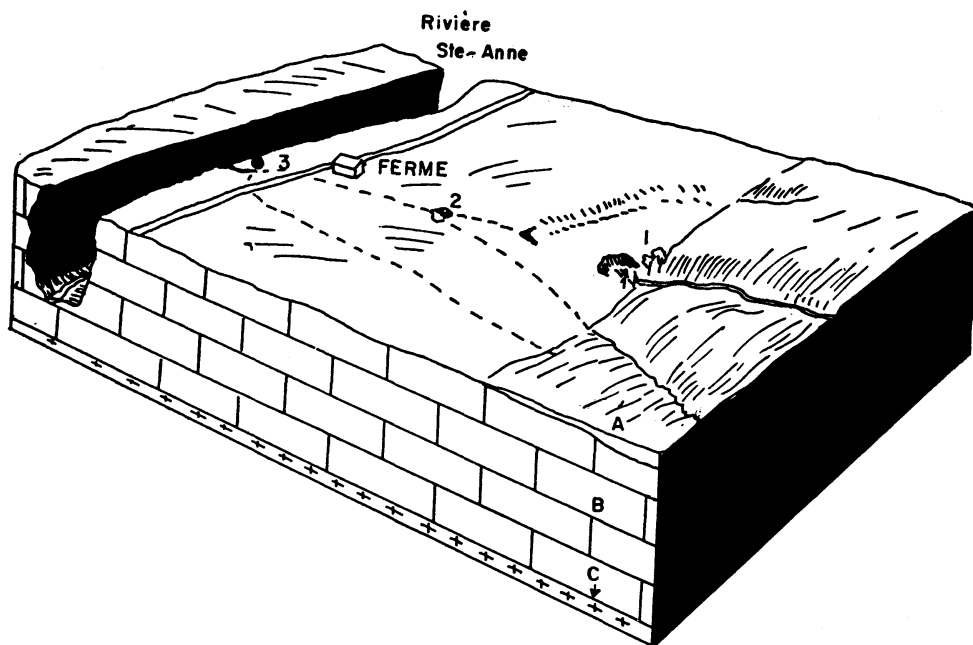
Sainte-Anne par un grand réseau hypogé. Sous terre on peut suivre la totalité du parcours de la rivière. On remarque (figure VII) :

- la présence d'un réseau de galeries sèches, dont la plus typique est la galerie des marmites avec de belles formes d'érosion tourbillonnaire ;
- les vastes dimensions de certaines parties de la grotte ;
- l'arrivée d'affluents souterrains rejoignant le chenal principal ;
- la médiocrité des concrétions, ce qui témoigne de l'importance des actions de dissolution. Nous sommes en présence d'un réseau actif d'une grotte en pleine formation.

En surface, la grande perte et l'ancienne perte de la Cheminée-du-Diable, les dolines⁴ jalonnant le cours souterrain et de médiocres esquisses de vallée sèche (cf. bloc diagramme, figure VIII) sont les traits les plus marquants. L'altitude est voisine de 40 m.

On peut essayer de connaître plus exactement la vitesse d'érosion des calcaires, la durée de la formation de la grotte. Entre l'eau qui entre dans la grotte et celle qui en sort l'accroissement de teneur en calcaire est de 5mg/1. Le bassin versant de la rivière qui se perd est de 2km². La tranche d'eau écoulée est normalement dans ces régions de 50 cm, mais ici, pour un aussi petit bassin, entièrement situé dans des terres labourées très plates, la tranche d'eau varie entre 20 et 30 cm. Pour 25 cm le débit annuel de la rivière est de 500,000 m³, c'est-à-

FIGURE VIII
GROTTE DE SAINT-CASIMIR, BLOC-DIAGRAMME



(dessin : Jacques Lemieux)

1. Trou du Diable (perte de la rivière) ; 2. Dolines, effondrement donnant sur la Cheminée du Diable (cf. figure VII) ; 3. Résurgence, sortie de la grotte. On remarque en surface les traces de vallées sèches.

Sur la coupe : A. couverture de sol imperméable ; B. calcaires de Trenton ; C. « Bouclier » formant substratum des calcaires.

dire que 2,5 tonnes ou 1 m³ de calcaire sont enlevés chaque année de la grotte. Le volume de celle-ci est voisin de 4,000 m³. Pour les enlever il a fallu (théoriquement, les conditions étant supposées constantes) 4,000 ans. La surface des parois de la grotte étant de 6,000 m², on peut en conclure que la vitesse d'ablation

⁴ Doline : dépression fermée, semi-circulaire, liée à la dissolution profonde du calcaire.

(en mm/millénaire) est de 170, chiffre parfaitement comparable à celui de Joliette (150) et à ceux de toutes les régions hautement neigeuses. Ces chiffres sont cependant très élevés si on les compare à ceux des régions « tempérées » sans neige.

On peut admettre que la formation de la grotte a commencé peu de temps après la surrection de la terrasse et obtenir ainsi un âge approximatif de cette terrasse. On peut aussi se demander pourquoi cette grotte est si remarquable-

FIGURE IX
RIVIÈRE SAINTE-ANNE



(dessin : Jean Corbel)

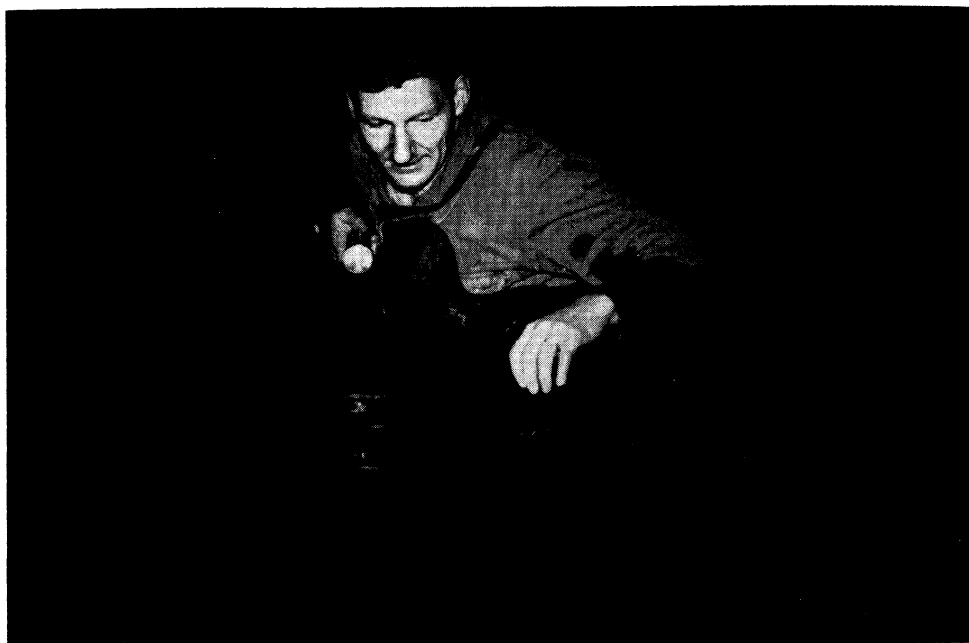
Falaise calcaire, intensité de la dissolution horizontale à divers niveaux, en relation avec les variations de niveaux des eaux.

ment isolée, pourquoi, les conditions étant semblables pour toute une région, on a seulement cette unique cavité? Il ne semble pas que l'on puisse indiquer une faille propice au développement de cette grotte. La carte géologique ou l'examen de la coupe naturelle au long de la rivière Sainte-Anne ne montrent rien de semblable. L'explication la plus plausible serait probablement de mettre ce Trou-du-Diable en relation avec un ancien méandre de la Sainte-Anne, méandre

qui aurait été formé sur les alluvions de la terrasse et qui, cas très fréquent, aurait été rapidement court-circuité par un passage souterrain. Cette ancienne perte de la rivière Sainte-Anne n'aurait eu qu'une vie assez brève, mais elle aurait suffi pour creuser le réseau ancien de la grotte et créer un collecteur qui s'est agrandi par le jeu normal de l'érosion. La grotte serait donc dans ce cas, légèrement plus jeune, 3,500 ans peut-être au lieu de 4,000 ans⁵ (photos I-II-III-IV).

Une origine semblable (ancien lit de la rivière voisine) peut, peut-être, aussi être suggérée pour la grotte de Joliette.

PHOTO I



Grotte de Saint-Casimir, la rivière souterraine.

(photo : Jean Corbel)

Sur la rive Sud du Saint-Laurent, on ne connaît pas actuellement de phénomènes karstiques notables. La dissolution du calcaire, pour être moins importante qu'à Saint-Casimir, est cependant notable, à en juger par la teneur en calcaire des eaux courantes. Une source, comme celle de Coaticook, à la frontière des États-Unis, contient en moyenne 100mg/1 de calcaire. La Saint-François à East-Angus, contient en moyenne 26mg/1 de calcaire (et 3 mg/1 de CO² libre ce qui indique une grande agressivité, une grande possibilité de dissolution ultérieure de calcaire). Son débit de 200,000,000 m³ par an lui permet d'emporter

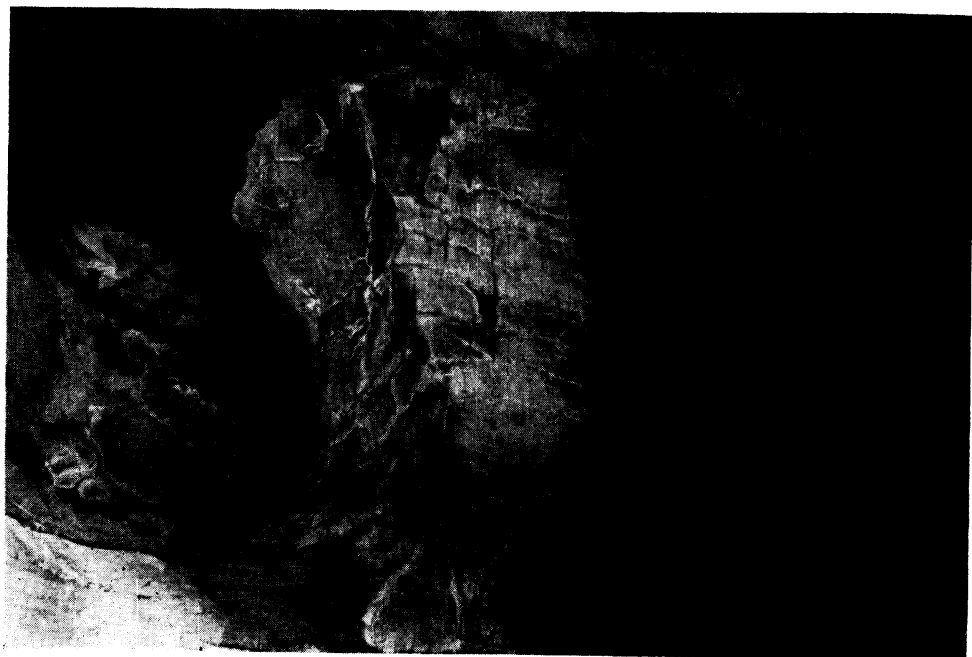
⁵ Cette datation donne pour la surrection actuelle (depuis 4,000 ans) une vitesse moyenne de 1m/siècle, l'équivalent de la vitesse actuelle maximum de la surrection Balte. Depuis la mer Champlain jusqu'au stade 40m, la surrection aurait atteint la très grande vitesse de 5 m/siècle.

5,200 tonnes de calcaire. À Drummondville, pour la même rivière, la teneur moyenne des eaux est passée à 34 mg/1, le débit à 400,000,000 m³, c'est-à-dire 13,600 tonnes de calcaire par an. Si l'on admet, en raison surtout de l'épaisse couverture morainique, qu'un douzième seulement de la surface peut être appelé « calcaire », on peut calculer que l'ablation (toujours en m³/km²/an ou mm/millénaire) est de 104 à Drummondville et de 75 à 100 plus au Sud, vers la frontière des États-Unis.

L'Est du Québec

Au voisinage même de la ville de Québec, la rivière Laval disparaît complètement dans les calcaires, abandonnant une magnifique vallée sèche. On connaît

PHOTO II



(photo: Jean Corbel)

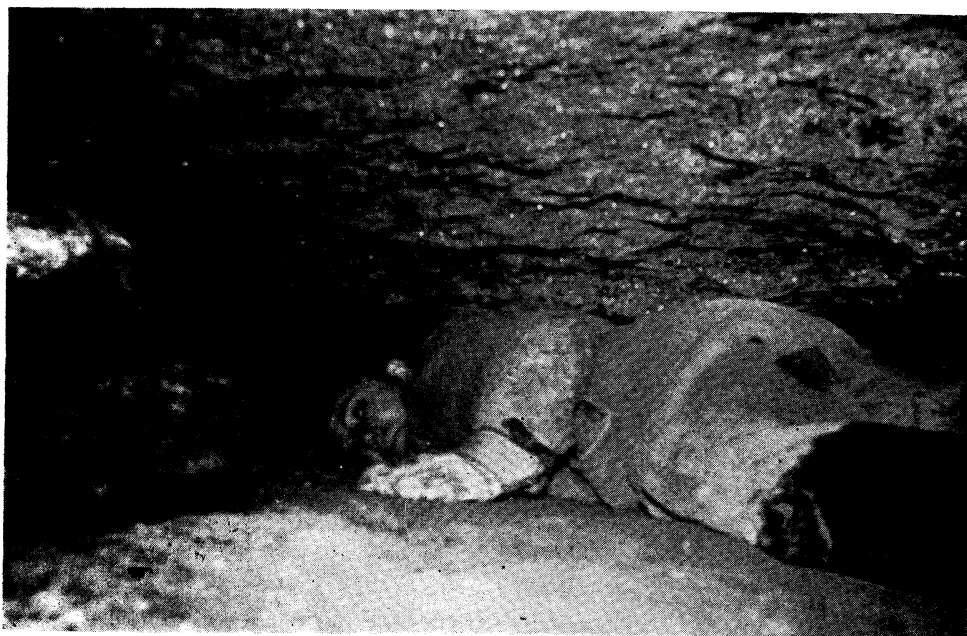
Grotte de Saint-Casimir, le Pilier. Dalle de calcaire laissée en équilibre sur un Pilier ; c'est là un effet un peu extraordinaire d'une dissolution intense et très rapide. On distingue, à gauche, une marmite d'érosion, à droite, dans l'ombre, la rivière souterraine.

la perte et la résurgence des eaux mais le cours souterrain, beaucoup trop étroit ne donne lieu à aucune grotte importante. À la perte, les eaux ont une teneur moyenne de 20mg/1 de calcaire. À la résurgence cette teneur s'élève à 24,8 mg/1. La dissolution souterraine a donc provoqué un accroissement voisin de 5 mg/1, chiffre relativement faible si on le compare à la grotte de Saint-Casimir où une élévation semblable de la teneur est observée après un parcours beaucoup moins important.

L'analyse des eaux de la rivière Saint-Charles (au Château-d'Eau de Québec) montre une teneur moyenne de près de 10 mg/1 de calcaire (24 mg/1 si l'on considère la dureté totale) avec 1 mg/1 de CO_2 libre. Ce sont donc des eaux agressives encore peu chargées en calcaire mais pouvant encore en dissoudre facilement. Elles ont évidemment peu coulé sur le calcaire. Si l'on se réfère soit à la rivière Laval, soit à la rivière Saint-Charles, on peut calculer que l'ablation des calcaires (toujours en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou mm/millénaire) est légèrement inférieure à 125.

Sur la rive Sud du Saint-Laurent, à Sainte-Anne-de-la-Pocatière, on connaît quelques grottes dans « la montagne, près du Collège ». Une série d'analyses d'eaux donnant les résultats suivants pour l'ensemble de cette rive méridionale :

PHOTO III



(photo : Jean Corbel)

Grotte de Saint-Casimir. Galerie C. P. Au plafond, cupule de dissolution. La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur provoque une forte condensation. On distingue les gouttelettes au plafond.

À Montmagny, la teneur en calcaire (calcique et magnésien) varie de 23 à 43 mg/1 en moyenne elle est de 35 mg/1. Au lac de Rimouski, elle varie de 46 à 54 mg/1 en moyenne elle est de 50 mg/1. À Rivière-du-Loup, elle varie de 19 à 32 mg/1, en moyenne elle est de 28 mg/1. La moyenne générale pour toutes ces eaux serait donc de 40 mg/1. Si l'on évalue la surface proprement calcaire au huitième du total, on peut calculer que l'ablation (toujours en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou mm/millénaire) est proche de 100.

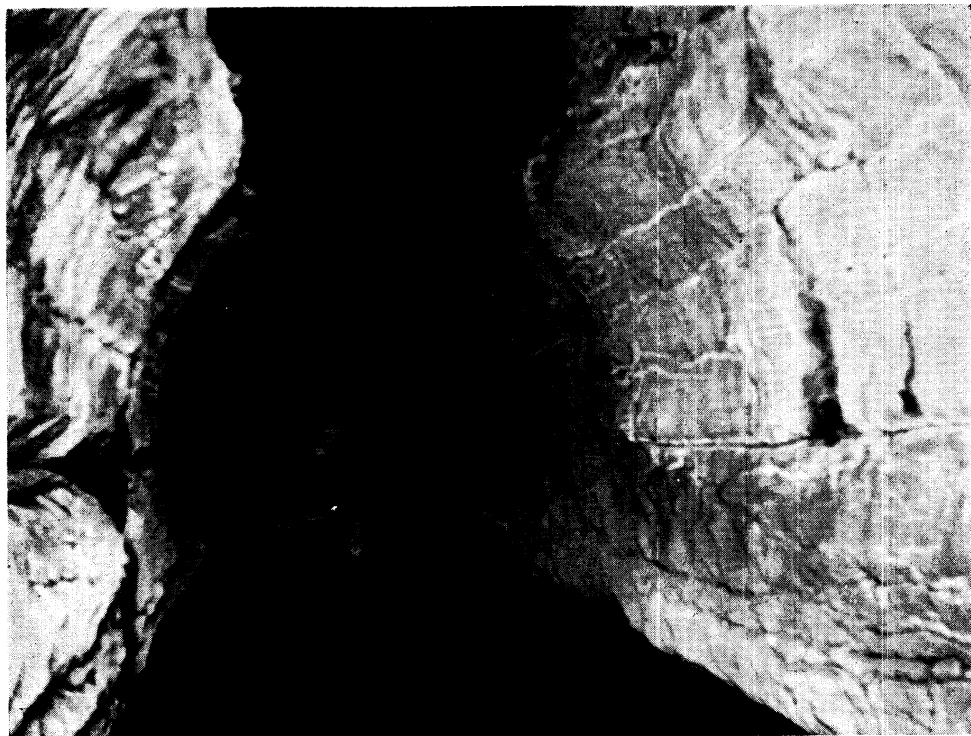
Sur la rive Nord, à Baie-Saint-Paul, la bande de calcaire est déjà très réduite. Les eaux du réservoir grossies uniquement par des ruisselets locaux ont

en moyenne 50mg/1 de calcaire (calcique et magnésien). Les calcaires proprement dits formant environ un septième de ce bassin versant, l'ablation peut-être évaluée à 105.

Sur la rive Nord les calcaires disparaissent à La Malbaie.

On ne les retrouvera, au-delà de La Malbaie, que dans la petite enclave du Havre Saint-Pierre et des îles voisines. On observe au long de la côte de très belles formes de dissolution mettant en valeur les différences de pureté des bancs. Les bancs les plus purs sont les plus dissouts, les plus attaqués, les plus en creux.

PHOTO IV



(photo : Jean Corbel)

Grotte de Saint-Casimir. Le Grand couloir parcouru par la rivière souterraine. Tout cela a été creusé en moins de 5,000 ans, témoignage de la rapidité de la dissolution dans les régions neigeuses du Québec.

L'érosion par dissolution au niveau du Saint-Laurent est si intense qu'elle sape les falaises comme au Spitzberg. Sur les faces les plus exposées on observe un mélange des actions destructrices du gel et de celles de la dissolution chimique. Ces actions isolent des piliers aux formes étranges exactement comparables aux « *raukars* » des îles calcaires de la Baltique, soumis à des conditions climatiques assez semblables (figures X à XIV).

Sur la rive Sud du Saint-Laurent les calcaires se continuent jusqu'à la péninsule de Gaspé et l'île d'Anticosti, rejoignant au-delà l'îlot calcaire du Havre

Saint-Pierre sur la rive Nord. Cette région Gaspé-Anticosti, est particulièrement humide et neigeuse. Elle paraît bien propice au développement de phénomènes karstiques, malheureusement nous ne possédons encore aucune indications précises sur les phénomènes karstiques à l'intérieur de ces zones.

Les observations sur les formes côtières sont beaucoup plus faciles à faire dans cette région parcourue par de bons services de bateaux.

Les calcaires forment généralement une falaise rongée à la base par une profonde rainure de dissolution. Cette rainure de dissolution est due ici à la double action des eaux du golfe et de la neige qui s'accumule l'hiver sur les pieds de glace bordant la côte (cf. figure XIV). Sous l'effet du gel et de l'intense dissolution due aux eaux de fonte des neiges la falaise s'écroule. Les glaces dérivantes

FIGURE X
BLOCS ÉBOULÉS AU LONG D'UNE CÔTE CALCAIRE
(ÎLE DU HAVRE-DE-MINGAN)

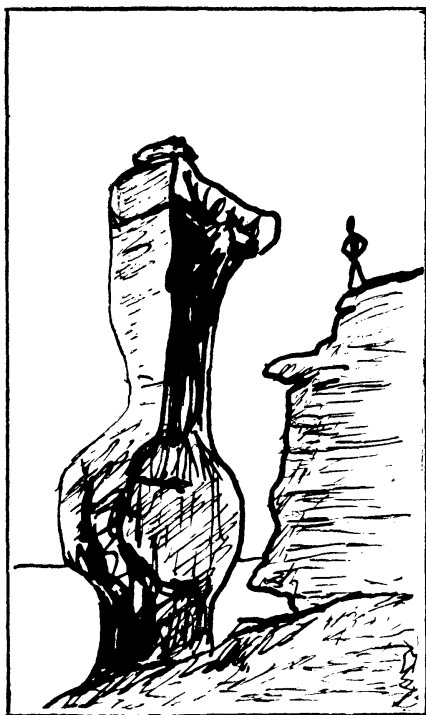


(dessin : Jean Corbel)

emportent une partie de ces éléments tombés, le reste est rapidement délité par le gel sur l'estran. Un gros bloc réduit ainsi en cailloutis grossier présente une surface beaucoup plus grande à la dissolution. Celle-ci fait disparaître un bloc ainsi délité de 6 à 10 fois plus vite qu'un gros bloc compact. La vitesse de dissolution par la mer est généralement de 2 à 3mm/an sur une surface unie. Elle peut donc faire disparaître en 50 ans, un bloc de 150 cm de côté... Si l'on ajoute à l'effet de la dissolution, celui des courants, très importants au long de cette côte et capables de charrier des masses de pierrailles assez considérables, on voit que le déblaiement de l'estran est rapide. Avec ou sans déblaiement la dissolution

continue de progresser dans la grande encoche de base. Le recul de la côte est très rapide. Au large d'Anticosti, les surfaces ainsi formées ont de 100 à 200m de large. Cette côte au Sud du Labrador n'est guère dégagée par les glaces que depuis 2,000 ans. Le recul de la côte est donc en moyenne de 50 à 100 cm par an, vitesse exactement comparable à celle des falaises calcaires du Spitzberg et de Björnöya (île aux Ours).⁶

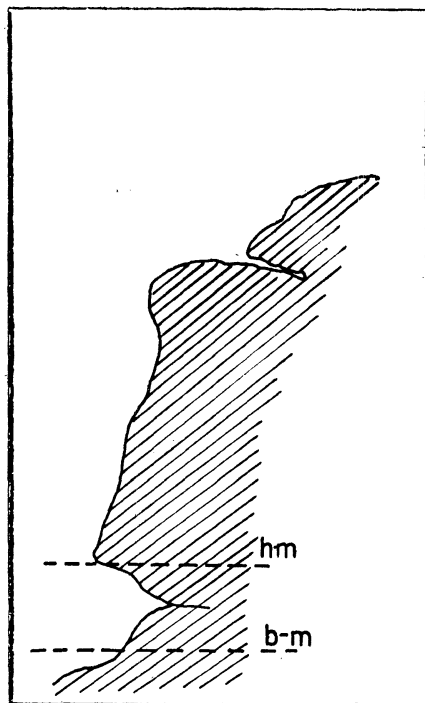
FIGURE XI
ÎLE NIAPISCA



(dessin : Jean Corbel)

Dans la région de Mingan, « Gendarme » rocheux calcaire au bord de la mer, analogue par sa formation et son allure aux *raukar* des îles de la Baltique.

FIGURE XII
PROFIL D'UNE CÔTE CALCAIRE
(ÎLE SAINT-CHARLES, MINGAN)



(dessin : Jacques Lemieux)

Noter l'importante rainure de dissolution à la base de la falaise entre le niveau des hautes-mers (h-m) et des basses-mers (b-m). De tels rivages sont très fréquents du long de toutes les côtes à icebergs (Björnöya, Spitzberg, etc. . .).

Les côtes d'Anticosti et de la région de Mingan fournissent donc un excellent exemple d'évolution de côte calcaire dans des régions très neigeuses, au long des mers-à-icebergs.⁷

⁶ Cf. J. C., *Les karsts du N.O. de l'Europe*, p. 37 (Spitzberg), pp. 61-67 (Björnöya).

⁷ Cf. pour comparaison : F. TAILLEFER, *Les rivages des Bermudes et les formes de dissolution au calcaire*, in *Cahiers de géographie de Québec*, n° 2, (avril) 1957, pp. 115-138, avec une bibliographie d'ensemble sur le problème des littoraux.

On peut assez facilement rapprocher les formations côtières marines des formations lacustres et même fluviales dans toute cette région de l'Est canadien où le gel hivernal voit la glace se souder d'une rive à l'autre.

Partout on trouve des entailles de dissolution (figure IX). Il faut cependant noter que sur les lacs et surtout sur les rivières le niveau des basses eaux d'hiver est beaucoup plus irrégulier qu'au long de la mer. Au lieu d'une entaille de dissolution on en trouve plusieurs réparties à différentes hauteurs au voisinage du niveau de l'eau.

Ces formes de rivages au long des rivières et des lacs rappellent étonnement les formes similaires que nous avons décrites en Laponie norvégienne.⁸

Sur le Bouclier canadien, les calcaires sont réduits à de minces plaques. Au long du lac Saint-Jean ou du lac Manicouagan ce sont des calcaires Ordoviciens. Au long de la grande bande de sédiments précambriens qui prend en écharpe le Nouveau-Québec, on a signalé quelques bancs calcaires. Sur la côte du Labrador, au voisinage du 56° lat.N. il en existerait également avec de nombreuses pertes de rivières. Benjamin Sulte signale, sans autres précisions, des grottes en « Labrador » (?), dans l'île Henley (probablement à côté de Henley Harbour, sur la côte du Labrador par 52° lat.N.), à Mécatina (probablement l'une des deux îles à l'Ouest de Harrington). En aucun de ces points les cartes géologiques actuelles (d'ailleurs peu précises) n'indiquent du calcaire. On a aussi décrit une grotte dans le granit près du lac Saint-Jean (Fr. L. Brassard).

La teneur en calcaire des eaux du lac Saint-Jean ou de la Saguenay à Chicoutimi est très faible, 6 à 7 mg/1 ; mais les étendues calcaires sont aussi extrêmement faibles. Il devient alors difficile d'évaluer l'ablation. Exprimée comme toujours en m³/km²/an ou mm/millénaire, elle est probablement voisine de 100.

Les Provinces maritimes

Les précipitations sont très importantes. Elles ont lieu surtout en hiver. Partout la tranche d'eau écoulée est supérieure à 75 cm. Souvent elle est voisine de 100 cm.

Benjamin Sulte a signalé une grotte à Kildare, probablement au nord de l'île du Prince-Édouard. Il en existe certainement bien d'autres dans les différentes bandes calcaires qui sillonnent ces régions océaniques.

La rivière Saint-Jean entre Edmundston et Woodstock nous donne un bon exemple de l'importance de la dissolution dans ces régions. À Edmundston l'eau contient en moyenne un peu plus de 20 mg/1 de calcaire. Chaque année la rivière en transporte en moyenne 140,000 tonnes. À Woodstock l'eau contient en moyenne 50 mg/1. La rivière emporte donc chaque année 1,100,000 tonnes de calcaire. Entre les deux villes l'accroissement annuel du transport de calcaire a donc été de 960,000 tonnes pour un bassin de 15,000 km². Un cinquième seulement de ce bassin étant calcaire, l'ablation est (toujours en m³/km²/an ou en mm/millénaire) de 130.

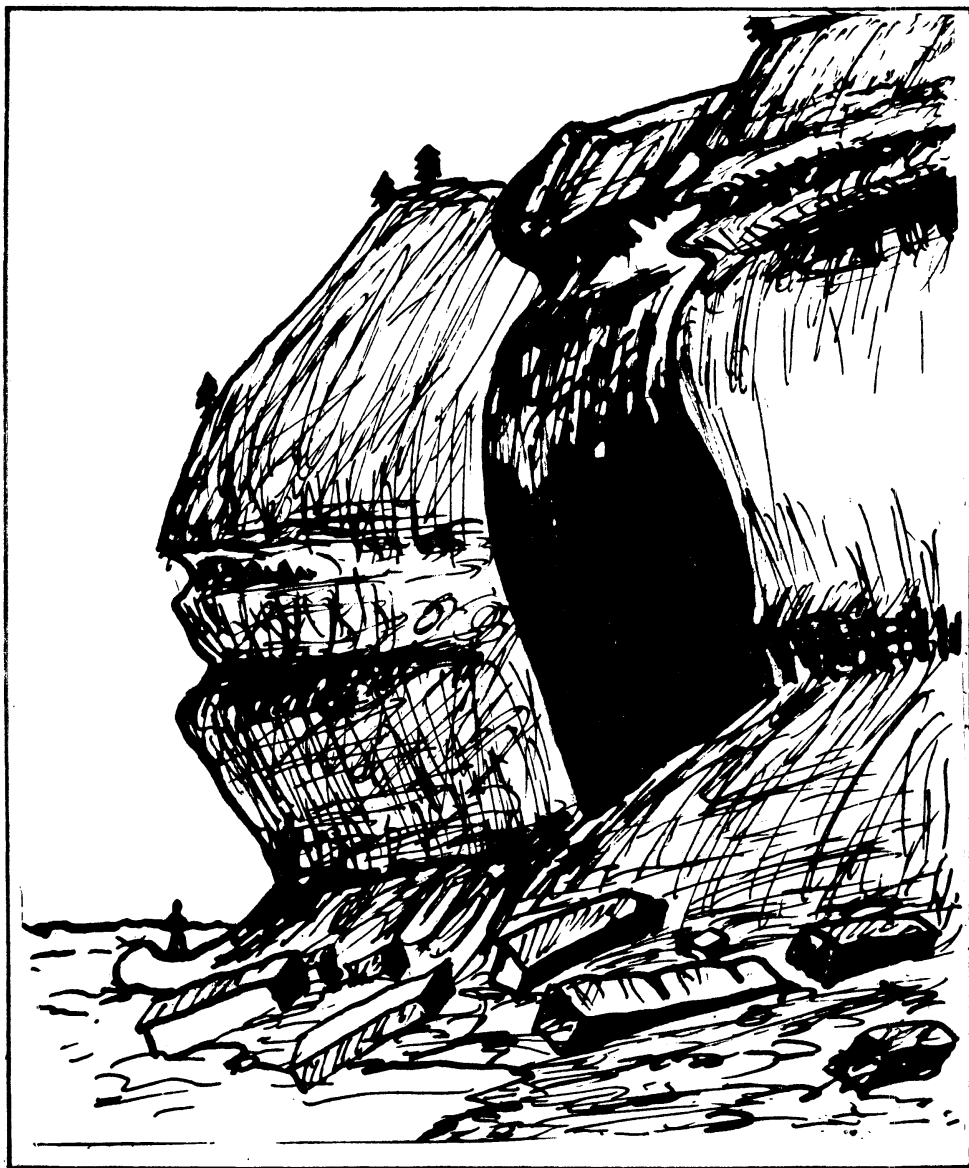
⁸ Cf. en particulier J. CORBEL, *Les karsts du N.O. de l'Europe*, Pl. 73, p. 188 ; Pl. 94, p. 243 ; Pl. 95 bis, p. 250, Pl. 96, p. 252.

Quelques comparaisons et réflexions

Si l'on compare les régions à grottes du Québec avec celles de France, par exemple, on est frappé par la faiblesse du relief dans les régions canadiennes,

FIGURE XIII

CÔTE CALCAIRE (POINTE-À-L'EAU-CLAIRE, MINGAN)



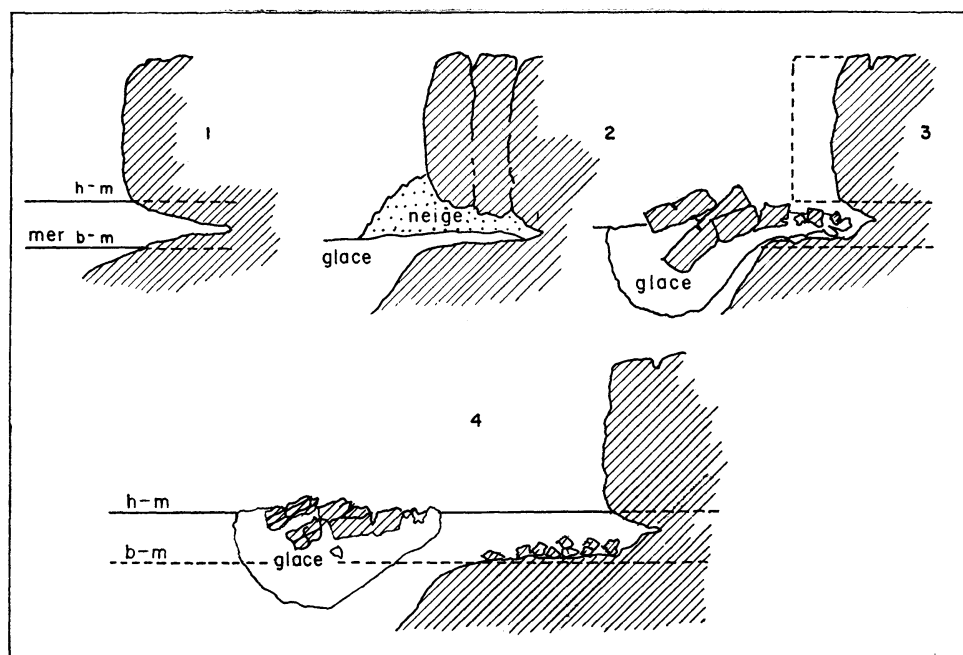
(dessin : Jean Corbel)

Importante rainure de dissolution, gros blocs éboulés en voie de délitage par le gel.

par l'établissement de cavités aussi importantes dans des régions aussi plates que les terrasses de Saint-Casimir, de Joliette ou de Montréal. Avec des masses de calcaire, un relief, une latitude comparable, le Bassin de Paris, par exemple, est loin de montrer un tel ensemble de grottes actives. Cette comparaison illustre bien l'importance du climat dans le développement des phénomènes karstiques. C'est à l'abondance de ses précipitations neigeuses que la vallée du Saint-Laurent doit ses grottes.

Dans le détail, comme le montre la carte (figure III) la relation reste étroite entre l'enneigement et la karstification. Dans un autre domaine, la rivière

FIGURE XIV
ÉVOLUTION D'UNE CÔTE CALCAIRE À MINGAN-ANTICOSTI



(dessin Jacques Lemieux)

1. Côte calcaire avec rainure de dissolution entre les niveaux des hautes et des basses mers.
2. Situation hivernale ; pied-de-glace recouvert de neige. Celle-ci favorise la dissolution dans la grande rainure. Le surplomb commence à se dilater sous l'action du gel et de la dissolution.
3. Situation au printemps ; effondrement du surplomb, les blocs éboulés sont, soit emmenés par les glaces, soit délités sur place par le gel.
4. Blocs emportés par la glace. Sur l'estran, cailloutis délités par le gel, rongés par la dissolution, emportés par le courant. La falaise continue de reculer rapidement (de 50 à 100 cm/an en moyenne).

Grand dans l'Ontario, pour laquelle nous avons une longue série de mesures, a bien sa teneur maximum en calcaire lors des basses eaux de fin décembre (420 mg/l), sa plus forte charge totale lors des hautes eaux de fonte des neiges (fin-mars, début-avril) lorsque la température des eaux n'est que de 1°C. C'est

bien à la saison froide et non à la saison chaude qu'est due l'importante dissolution des calcaires qui s'exerce dans le bassin de la Grand.

L'extrême jeunesse des grottes s'enfonçant dans des terrains hier encore recouverts par les glaces et les eaux est aussi frappante. D'après les nouvelles mesures au C 14, il n'y a guère que 7,000 à 10,000 ans que la région était encore recouverte par les glaces, 2,000 ans pour le Labrador ou l'Ungava. On comprend que ces deux dernières régions, bien qu'ayant des affleurements calcaires aient peu de grottes. Dans la vallée du Saint-Laurent, l'exhaussement des grandes terrasses est un fait récent comme en témoignent la jeunesse de leurs escarpements sujets à tant d'éboulement et, les rapides, voire les chutes par lesquels les affluents rejoignent le fleuve. Notre étude nous a permis de dater de 4 à 5,000 ans la terrasse de Saint-Casimir. Géologiquement c'est là un laps de temps très court. Il n'est guère que les régions du Nord de la Norvège, aussi humide, aussi neigeuse, pour avoir des grottes formées en aussi peu de temps.

L'allure horizontale des grottes de l'Est canadien résulte évidemment d'abord de l'absence générale de relief au lieu où elle se sont formées. Elles résultent aussi de la jeunesse de la formation de la grotte, les rivières souterraines n'ont pas encore eu le temps de s'enfoncer beaucoup plus. Mais peut-être faut-il voir là, aussi, le résultat d'époques de *permafrost*, où le sous-sol gelé empêchait toute infiltration plus profonde. On connaît de pareils cas en Laponie, et, à l'état fossile, en Irlande. De même les côtes de Mingan sont de type très arctique (figure XIV).

La vitesse d'ablation (toujours en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou $\text{mm}/\text{millénaire}$) permet des comparaisons avec d'autres régions où des mesures semblables ont été faites pour des zones calcaires. Nous avons groupés en un tableau les résultats pour quelques régions typiques. Le Québec est un excellent type de région neigeuse de basse altitude et de latitude moyenne, type inconnu en Europe moyenne, où la Bretagne et l'Irlande ignorent pratiquement la neige. On ne trouve autant de neige qu'en altitude ou bien plus au Nord.

ABLATION DES CALCAIRES DANS L'EST CANADIEN

(en $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou $\text{mm}/\text{millénaire}$)

Ontario méridional.....	60 à 120
Région de Toronto.....	75
Bas-Outaouais.....	100
Région de Montréal (Sainte-Thérèse-de-Blainville).....	120
Région de Joliette.....	150
Région de Saint-Casimir de Portneuf.....	160
Région de Drummondville.....	104
Région d'East-Angus, frontière des États-Unis.....	75 à 100
Région de Québec (rivières Saint-Charles et Laval).....	125
De Sainte-Anne-de-la-Pocatière à Rivière-du-Loup.....	100
Baie-Saint-Paul.....	105
Calcaires du Lac-Saint-Jean (approximatif).....	100
Rivière St. John entre Edmundston et Woodstock.....	130

ABLATION DANS QUELQUES AUTRES RÉGIONS CALCAIRES ⁹

Laponie intérieure (Suède)	40
Région de Tromsø (Nord-Norvège)	80
Svartisen (montagne très neigeuse du Nord-Norvège)	400
Vercos septentrional (Préalpes très neigeuses)	240
Lismore (Ben Nevis), Écosse	150
Ingleborough (Pennines septentrionales) Angleterre	84
Mendips (Sud de l'Angleterre)	40
Bassin de l'Ourthe (Ardenne orientale)	80
Bassin de la Lesse (Belgique)	27
Montagnes du Karst (Yougoslavie)	60
Gold Creek, Juneau, Alaska	360
Alaska intérieur (Tanana)	40

RECU DES RIVAGES CALCAIRES (en cm/an)

Björnöya	30 à 100
Anticosti	50 à 100
Spitzberg	10 à 100

BIBLIOGRAPHIE

Études générales de karsts

- CORBEL, J., *Les karsts du N.O. de l'Europe*, étude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires, Lyon 1957, 541 pp., 100 ph. h.-t.
- CORBEL, J., *A new method of study for limestone regions*, in *Rev. canad. de géog.*, vol. X, n° 4, Montréal, 1956.

Karsts de l'Est canadien

- BRASSARD, L., *Les grottes et les cavernes du Québec*, in *Science et Aventures*, (mai-juin) 1950, 2 pp. avec bibliographie d'articles anciens, à laquelle nous renvoyons.
- BRASSARD, L., *Visite à la grotte Kimpton*, in *Sciences et Aventures*, 2 pp.
- BRASSARD, L., *Le Trou-de-Fée de Crabtree*, 2 pp. ronéotypées, Séminaire de Joliette, sd.
- M^{GR} LEBON, *Histoire du collège de Sainte-Anne-de-la-Pocatière*, 2 vol., Charrier et Dugal, Québec, 1948 (signale quelques grottes).
- SULTE, B., *La caverne de Wakefield*, Montréal, 1875, *idem* in *Mélanges d'histoire et de littérature*, Ottawa, 1876.
- ROBITAILLE, B., *Les îles Mingan*, dans *Notes de Géographie*, n° 6, mai 1954, pp. 1-9. 8 figures et photographies.
- KNIGHT, A. S., et KIRKWOOD, C. C., *Adirondack guide*, Lake George, 1956 (pour les grottes, cf. pp. 8, 150, 224).

Analyses d'eau ¹⁰

- LÉVERIN, H.-A., *Industrial waters of Canada*, Dept. of Mines and Resources, Ottawa, 1942, 112 pp.

⁹ On trouvera d'autres chiffres dans J. CORBEL, *Les karsts du N.O. de l'Europe* (résumé, pp. 498-499), divers articles de l'auteur dans la *Revue canadienne de géographie* (Montréal), surtout, 1956, pp. 241-242.

¹⁰ Les analyses d'eau ont été faites par l'auteur souvent avec la collaboration de l'Institut de chimie de l'université de Montréal, ou sont extraites de l'ouvrage d'H.-A. Léverin.

*Datations par les pollens et le C 14*¹¹

COURTEMANCHE, A., *A radiocarbon date of peat from James Bay in Québec.*

COURTEMANCHE, A. et POTZGER, J. E., *Bog and lake studies on the Laurentian shield in Mt. Tremblant Park, Québec*, in *Bulletin du Service de biogéographie n° II*, Montréal, (sept.) 1954.

WILSON, L., *Les tourbières livrent le secret des forêts disparues* (d'après les déclarations d'A. Courtemanche et J. E. Potzger), *Sciences et Aventures*, 7 (12), 1952.

*Autres indications géologiques*¹²

GOUDGE, M. P., *Les calcaires du Canada*, Partie III, Québec, Division des mines, n° 758.

HARE, F. K., *Some notes on Post-Glacial climatic change in Eastern Canada*, Inst. géog. McGill, ronéotypé, 16 pp., sd.

LAVERDIÈRE, C., et MAILLOUX, A., *État de nos connaissances d'une transgression marine post-glaciaire dans la région du Haut-Saguenay et du Lac-Saint-Jean* in *Rev. canad. de géog.*, X, n° 4, Montréal 1956, pp. 201-220.

LAVERDIÈRE, J. W., *Région de la rivière Sainte-Anne*, Rapport annuel du Service des mines 1936-D, Québec, 1938.

WADDINGTON, G. W., *Les dépôts de calcaire de la région de Mingan*, Rapport géologique 42, Québec, 1950.

¹¹ Ces notes et de nombreux renseignements oraux m'ont été fournis très gracieusement par le professeur A. Courtemanche, de l'université de Montréal.

¹² Ces ouvrages ne contiennent aucune indication sur les phénomènes karstiques, mais fournissent quelques références utiles.